

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

# 博士論文審査報告書

## 論 文 題 目

Application of Pupil Diameter Variation on the  
Control System for Endoscopic Manipulator

申 請 者

Yang	CAO
曹	暘

総合機械工学専攻 バイオメカニカルシステム研究

2017 年 2 月

## (1) 審査経緯

博士論文審査の経緯を以下に示す．

- ・ 2016 年 11 月 15 日 副査説明会
- ・ 2016 年 12 月 1 日 予備審査会
- ・ 2016 年 12 月 8 日 教室受理決定
- ・ 2016 年 12 月 22 日 創造理工学研究科運営委員会受理決定
- ・ 2017 年 1 月 10 日 博士論文読み合わせ会
- ・ 2017 年 1 月 23 日 リーディング大学院実体情報学 QE3 実施

実体情報学博士プログラム修了要件は，専攻の審査に合格することとプログラムの QE3 に合格することである．QE3 は現在審査中．

- ・ 2017 年 1 月 26 日 公聴会
- ・ 2017 年 2 月 8 日 審査分科会
- ・ 2017 年 2 月 25 日 研究科運営委員会予定

## (2) 論文背景・内容・評価

視線の計測は，様々なマンマシンインタフェースへの応用が期待され，技術開発が盛んなテーマである．人間の **Attention**（注意）の分析，バーチャルリアリティにおける映像提示制御などへ応用され，最近では，ゲーム等のエンタテインメント分野では実用化されており，凝視点計測による商業分析などの適用例もある．さらに，最新の視線追跡技術では，瞳孔の直径を検出することもできるようになり，精神的負荷の分析に用いられている．この瞳孔径の変化は，認知プロセス，身体的負担および活発な心的イメージの想起によって引き起こされ，**Task-evoked pupillary response** として知られている．

この瞳孔径変化をロボットの操縦に応用し，操縦者の瞳孔の状態に基づき操縦中の視野を調整しようとしたのが，本論文の主題である．瞳孔径を用いたマンマシンインタフェースの例はこれまでに無く，本論文は新しい試みであると言える．本論文が着目したのは腹腔鏡手術であるが，この手術では，腹腔鏡および手術器具が微小な手術創を通して患者の体内に挿入し，操縦者（術者）は腹腔鏡によって撮影されたモニタ画像を用いて手術を行う．腹腔鏡手術が進行中は，術者の両手は手術器具を把持しているため，隣に腹腔鏡を操作する助手が必要となる．しかし，助手が術者の意図を素早く理解し，術者の指令通りに腹腔鏡を操作するのは困難である．そこで本論文では，視線情報を基に術者の要求に応じて素早く視覚条件すなわち視野等を変更できるハンズフリーの腹腔鏡手術支援ロボット（内視鏡マニピュレータ）システムの開発を行っている

本論文で研究開発したシステムは，術者の凝視点と瞳孔径の計測データを

基に術者の操縦意図を認識し，内視鏡制御時の無意識の眼球運動による誤動作を回避しつつ，内視鏡マニピュレータの方向変化および画面の拡大・縮小を行うものである．システム構築にあたっては，医師の瞳孔径の変化を計測・分析を行っており，縫合プロセス中に瞳孔径の変化に規則的なパターンがあること，すなわち，精神活動のために  $0.1\sim0.5[\text{mm}]$  瞳孔径が拡張し，瞳孔拡張プロセスの持続時間は  $0.3[\text{s}]$  未満であることなどを見出している．それらの知見を基に，目の無意識な動作による内視鏡マニピュレータの誤動作を防ぐために，サポートベクトルマシンにより視線データから操作者の意図判断を行う意図判別部，凝視位置から確率的ニューラルネットワークにより視野方向の変更を判断する方向判別部，そして画面の拡大縮小を制御しつつ，実際に内視鏡マニピュレータを作動させるズーム制御部からなるシステムを構築している．最後に，システムの全体的なパフォーマンスを評価する実験を行っている．実験の結果，本論文が提案するシステムにより，効率的な内視鏡マニピュレータの作業運動軌跡が得られること，システムの処理時間が人間固有の視覚・手作業協調時における遅延時間よりも十分に短いことを示し，本システムの有効性を明らかにしている．

以上要するに，本論文は瞳孔の直径変化計測を手術支援ロボットの制御に導入する可能性を，術者の手技の観測データ分析を通して探究し，実際に内視鏡マニピュレータの操縦制御に適用して，その有効性を確認したものである．本論文の成果は，手術支援ロボットの操縦技術を飛躍的に高める機能を導入し，医療技術の進歩に大いに寄与するばかりでなく，人間の目を利用したマンマシンインタフェースの研究分野の発展にも貢献するものである．よって，本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める．

## 審査員

主査 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 菅野 重樹

年 月 日

副査 早稲田大学名誉教授 博士（工学）早稲田大学  
藤江 正克

年 月 日

副査 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 高西 淳夫

年 月 日

副査 早稲田大学教授 医学博士（東京女子医科大学），  
工学博士（早稲田大学） 梅津 光生

年 月 日

副査 早稲田大学教授 工学博士（東京大学） 大谷 淳

年 月 日

副査 早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 尾形 哲也

年 月 日

副査 早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 岩田 浩康

年 月 日